

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-67654

(43) 公開日 平成9年(1997)3月11日

(51) Int. Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 3		C 2 2 C 38/00	3 0 3 U
38/16			38/16	
H 0 1 F 1/16			H 0 1 F 1/16	A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-220099

(22) 出願日 平成7年(1995)8月29日

(71) 出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72) 発明者 尾田 善彦

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(72) 発明者 日裏 昭

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(72) 発明者 上井 清史

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

(74) 代理人 弁理士 細江 利昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板

(57) 【要約】

【課題】 低温、短時間の仕上焼鈍、低温、短時間の磁性焼鈍でも鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を提供。

【解決手段】 重量%で、Si: 1%超3.5%以下、Al: 0.1~1%、Mn: 0.1~0.8%、Cu: 0.05%以下、S: 0.01%以下を含む無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物の大きさおよび個数が、それぞれ直径0.1~0.5 μ mの大きさのものが500~5000個/mm²、直径0.5 μ m超の大きさのものが500個/mm²以下である。更に、C: 0.005%以下、P: 0.2%以下、N: 0.005%以下とする。

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、Si:1%超3.5%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%、を含有し、Cu:0.05%以下、S:0.01%以下である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 μ mのものが500~5000個/ mm^2 、直径0.5 μ m超えのものが500個/ mm^2 以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板。

【請求項2】重量%で、C:0.005%以下、P:0.2%以下、N:0.005%以下、Si:1%超3.5%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下、S:0.01%以下である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 μ mのものが500~5000個/ mm^2 、直径0.5 μ m超えのものが500個/ mm^2 以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板に関するものである。

【0002】

【従来の技術】無方向性電磁鋼板は、発電機、電動機、小型変圧器などの電気機器に広範に使用されている。これらの製品に対し最近では、省エネルギーの流れを受けて、電気機器が使用される際のエネルギーを出来るだけ低く抑えたいという要望が強まっており、これまでにまして鉄損の少ない鋼板の供給が求められている。

【0003】一般に、鉄損は使用時の鋼板の結晶粒径が大きくなるほど少なくなることが知られており、仕上焼鈍あるいは磁性焼鈍において結晶粒径を粗大化させることの容易な鋼板が求められている。低鉄損が特に要求されるSi+Al量が1~3%程度の中・高級グレードの無方向性電磁鋼板においては、仕上焼鈍温度を1000℃まで高めたり、焼鈍時のラインスピードを下げて焼鈍時間を長くすることによって結晶粒の粗大化を図っており、製造コストが比較的割高になっているのが現状である。

【0004】上記の要望に対して、結晶粒界のピンニングサイトとなりやすい介在物あるいは析出物量を低減することや、鋼板中の介在物もしくは析出物の形状・組成を制御してピンニングサイトとしての機能を失わせる試みがなされている。

【0005】例えば、特開平3-249115号公報では、SiおよびS量に対して特定範囲のMn量にすることにより、凝固過程でのMnSを増大させ、ピンニングサイトとして機能しにくい粗大なMnSとすることが提案されている。また、特開昭62-199720号公報では、スラブ加熱温度を1150℃以下と低い温度に設

定し、MnSの再固溶を防止することによって微細に分散しやすい再析出MnS量を制御する方法が提案されている。さらに、特公昭56-33451号公報では、スラブを特定温度に保持することで、AlNを粗大化して結晶粒の成長に対して無害化を図ることが提案されている。

【0006】一方、特開平1-152239号公報では、鋼板中の酸化物の組成、具体的にはSiO₂、MnO、Al₂O₃に対するMnOの比率を低めることによって酸化物の融点を上げ、ピンニングサイトとして機能しやすい微細介在物の分散を防止することが提案されている。また、特公平5-69910号公報では、直径0.5~5 μ mの酸化物を10~500個/ mm^2 を残し、これを核としてMnSを凝集析出させ、微細なMnSの析出を減らすことが提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら最近では、電気機器の省エネルギー化はもちろんのこと、電磁鋼板およびそれを用いた電気部品の製造過程に対しても省エネルギーが求められており、その中の具体的要望のひとつとして、仕上焼鈍をこれまでよりも低温側・短時間側で実施したいという要望がある。

【0008】こうした場合、本発明者らの実験によれば、上記したような、MnSの粗大化もしくはAlNの粗大化、あるいは酸化物系介在物組成の規定、比較的大きな酸化物の形成とそれによるMnSの吸着だけでは十分に粒成長させることができず、必要な鉄損特性が得られないことが判明している。

【0009】本発明はこうした低温・短時間での結晶粒成長を容易にし、低温・短時間での仕上焼鈍あるいは磁性焼鈍においても鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】第1発明は、重量%（以下、同様）で、Si:1%超3.5%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下（0を含む）、S:0.01%以下（0を含む）である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 μ mのものが500~5000個/ mm^2 、直径0.5 μ m超えのものが500個/ mm^2 以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0011】第2発明は、C:0.005%以下、P:0.2%以下、N:0.005%以下、Si:1%超3.5%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下（0を含む）、S:0.01%以下（0を含む）である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 μ mのものが500~5000個/ mm^2 、直径0.5 μ m超えのものが500個/ mm^2 以下であ

ることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0012】(1) 介在物、析出物

本発明で、鋼板中に含まれる介在物の大きさおよび個数を規定した理由について、研究の経緯に沿って基本的な考え方を述べる。

【0013】本発明の介在物とは、鋼板中の硫化物、酸化物、炭化物、窒化物など、あるいはこれらの2元、3元の複合体の全てを示しており、介在物、析出物、晶出物などの全てを含む総称である（以下、明細書の中で、単に介在物と表現する）。

【0014】本発明者らはまず始めに、低温度で仕上焼鈍を行なった試料について介在物および析出物の観察を行なった。試料の化学組成はC：0.0030%，Si：1.12%，Mn：0.13%，P：0.051%，S：0.003%，Al：0.13%，N：0.0021%であった。観察は走査型電子顕微鏡（以下SEMと呼ぶ）および透過型電子顕微鏡（以下TEMと呼ぶ）を用いて行ない、SEM観察は鋼板断面を直接観察、TEM観察は抽出レプリカ観察とした。

【0015】SEM観察の結果、0.2～0.5μm程度のAl₂O₃、AlNおよびMnSが観察された。さらにTEM観察を行なったところ、数十nm程度の極めて微細な析出物が認められ、それらがCuSであることが確認された。これまではそうした微細な析出物はAlNもしくはMnSと考えられていたが、低温度ではCuSが優先的に析出することが新たな知見として得られた。このことは本発明にとって極めて重要でキーとなる発見である。

【0016】そこで、こうした微細なCuSの生成を防止する手法について検討を行なった。とくに本発明ではCuおよびSの存在がある程度不可避であるという前提に立った方策について検討を行なった。

【0017】図3は溶鋼の鋳造時の冷却速度と仕上焼鈍（850℃・1分）後の介在物の大きさと個数の関係を示している。用いた試料（板厚0.5mm）の化学組

* 成、冷却速度は図中に示すとおりである。また鉄損も併せて図中に示しているが、冷却速度の大きい鋼Aが4.6W/kg、冷却速度の小さい鋼Bが5.6W/kgとなっており、冷却速度の増大によって鉄損の低下がもたらされることがわかる。

【0018】これらの鋼の介在物分布を比較してみたところ、直径0.5μm超の介在物のサイズと個数はほぼ同じであった。一方0.1～0.5μmの介在物の個数には差異が認められ、鋳造時の冷却速度が速くW15/50が4.6W/kgと低い鋼Aの方が、鋼Bに比べて多量の介在物が認められた。さらに、CuSの形態を観察すると、鋳造時の冷却速度が速い鋼AにはCuSがあまり観察されなかったのに対し、鋳造時の冷却速度が遅くW15/50が5.6W/kgと高い鋼Bには、数10nm程度の非常に微細なCuSが多数認められた。

【0019】さらに鉄損が少なく冷却速度が速い鋼板Aについて、CuおよびSの形態観察を行った結果、CuおよびSは0.1～0.5μmの介在物として、MnO-MnS-CuSとなっていることが判明した。すなわち、微細なCuSが減少し、0.1～0.5μmの介在物が増加した理由は、CuSがMnO-MnSを核に凝集粗大化したものと推定できる。

【0020】以上のことから、CuSの悪影響を低減し、優れた鉄損特性を確保するためには、直径0.1～0.5μmの介在物を適量、存在させ、微細なCuSを減少すべきとの知見を得た。

【0021】次いで、直径0.1～0.5μmの介在物の個数の適正範囲について検討を行なった。

【0022】図1は直径0.1～0.5μmの介在物の個数と鉄損の関係を示している。ここで用いた試料は、表1に示した鋼板成分の1および5を用い、鋳造時の冷却速度を変化させ、仕上焼鈍後の直径0.1～0.5μmの介在物の個数を調整したものである。

【0023】

【表1】

鋼板成分番号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	N	備考
1	0.0020	1.05	0.22	0.101	0.003	0.011	0.11	0.0020	本発明鋼板
2	0.0024	1.35	0.42	0.171	0.003	0.010	0.12	0.0022	本発明鋼板
3	0.0031	1.35	0.51	0.112	0.002	0.032	0.52	0.0023	本発明鋼板
4	0.0021	1.25	0.32	0.090	0.002	0.011	0.96	0.0032	本発明鋼板
5	0.0035	1.50	0.25	0.098	0.006	0.008	0.52	0.0024	本発明鋼板
6	0.0041	3.00	0.63	0.122	0.004	0.009	0.32	0.0026	本発明鋼板
7	0.0032	3.42	0.52	0.135	0.005	0.005	0.24	0.0018	本発明鋼板
8	0.0058	1.10	0.41	0.114	0.002	0.008	0.12	0.0026	本発明鋼板
9	0.0035	1.11	0.44	0.115	0.002	0.007	0.14	0.0056	本発明鋼板
10	0.0041	1.02	0.58	0.252	0.003	0.010	0.13	0.0026	本発明鋼板
11	0.0030	3.89	0.40	0.100	0.003	0.011	0.15	0.0021	Si 外れ
12	0.0036	1.05	0.53	0.122	0.004	0.012	1.55	0.0017	Al 外れ
13	0.0025	1.03	0.40	0.098	0.018	0.009	0.15	0.0021	S 外れ
14	0.0022	1.10	0.04	0.105	0.004	0.011	0.17	0.0024	Mn 外れ
15	0.0024	1.12	0.93	0.098	0.002	0.013	0.18	0.0026	Mn 外れ

【0024】表1に表示しない残部はFe及び不可避免れる0.5μm超えの介在物の個数は112～131個純物である。鋼板の板厚は0.5mmで、鋼板中に含まれ、鉄損W15/50の値は850℃・1分の仕上

焼鈍後のものである。

【0025】図1から明らかなように、鉄損に対して直径0.1~0.5 μ mの介在物の個数が大きく影響を及ぼしていることが明らかであり、適性な領域が存在すること、それらの値は、500~5000個/mm²、好ましくは1000~3000個/mm²の範囲とすべきことがわかる。直径0.1~0.5 μ mの介在物の個数が500個/mm²未満の場合は10mm程度の非常に微細なCuSが多数析出しており、これにより仕上焼鈍時の粒成長が阻害され、劣化したものとする。一方、直径0.1~0.5 μ mの介在物の個数が500~5000個/mm²の場合は10mm程度の非常に微細なCuSは見当たらず、0.1~0.5 μ m程度のMnS-MnO-CuSが多数認められた。従来、0.1~0.5 μ m程度の細かい介在物が多数存在すると、結晶粒の成長を阻害すると考えられていたが、本発明の範囲内に介在物の大きさ、個数を制御することにより、10nm程度の非常に微細なCuSが減少し、従来の鋼板よりも優れた鉄損特性の無方向性電磁鋼板が得られることがわかった。また直径0.1~0.5 μ mの介在物の個数が5000個/mm²を超えると鉄損が高くなる傾向にあるが、これは介在物の個数が多くなり、それらの中でピンニングサイトとして機能するものが多くなるためと考えられる。ここで、0.1~0.5 μ mの介在物の組成は特に規定しない。CuSの凝集粗大化の図れるものであれば、どのような介在物でもよい。

【0026】次に、直径0.5 μ m超えの介在物の個数の適正範囲について述べる。図2は、直径0.5 μ m超えの介在物の個数と鉄損の関係を示している。本図は、表1に示した鋼板の1および5を用い、鋳造前の溶鋼の脱ガス時間を変化させて、仕上焼鈍後の0.5 μ m超えの介在物の個数を調整して得られたものである。また、鋳造時の冷却速度を変化させて、0.1~0.5 μ mの介在物の個数を発明の範囲内に調整している。表1に表示しない残部はFe及び不可避不純物である。また、鋼板の板厚は0.5mmで、鉄損W15/50の値は図中に示される条件で仕上焼鈍を行なった後のものである。

【0027】図2から、直径0.5 μ m超えの介在物の個数が500個/mm²以下になるとW15/50が低くなる傾向が認められ、300個/mm²以下の範囲とすれば安定して低い鉄損が得られるようになることがわかる。500個/mm²を超えると、W15/50が高くなる。この原因は、磁壁の移動が妨げられ、ヒステリシス損が増大し、それに起因して鉄損が多くなるものと推定する。

【0028】このことから、直径0.5 μ m超えの介在物の個数を500個/mm²以下に、好ましくは、300個/mm²以下と規定する。

【0029】(2)成分

Cuは、CuSを形成し有害な成分である。0.05% 50

を超えた場合、介在物の大きさ、個数が本発明の範囲内であっても、微細なCuSの生成を防止することができないため、0.05%以下とする。

【0030】Sは、MnS、CuSなど有害成分となる硫化物を形成する。かつ赤熱脆性の発生の原因となるので0.01%以下とする。

【0031】Siは、鋼板の固有抵抗を上げ、鉄損を少なくするのに有効な成分であり1%超とする。一方3.5%を越えると飽和磁束密度の低下に伴い磁束密度が低下するため上限を3.5%とする。

【0032】Alは、少量添加した場合には、微細なAlNを形成し、結晶粒の成長を阻害し、鉄損を多くする。そのために0.1%以上を添加する。この場合には、AlNは粗大化し、結晶粒の成長を阻害せず、かつ固有抵抗を上昇させ、もって鉄損を少なくする。一方、1%超えでは、磁束密度を低下させる。ゆえに、0.1~1%とする。

【0033】Mnは、鋼板の固有抵抗を上げて鉄損を少なくするのに有効な成分であり、かつ熱間圧延時の赤熱脆性を防止するために0.1%以上とする。また、0.8%を超えると磁束密度が低下するため、0.1~0.8%とする。

【0034】更に、より優れた鉄損特性の無方向性電磁鋼板を得るために、Cは、鉄損を多くする有害な成分で、Cの析出による磁気時効の原因となるので0.005%以下とする。

【0035】Pは、鋼板の打ち抜き性を改善するために必要な成分であるが、0.2%を超えて添加すると鋼板が脆くなるので0.2%以下とする。

【0036】Nは、焼鈍時の結晶粒の成長を阻害するAlNが多くなり、鉄損を多くするので0.005%以下とする。

【0037】なお、本発明では、Sb、Sn、B、Zrを磁気特性向上のために添加することは何らさしつかえない。

【0038】

【発明の実施の形態】本発明の鋼板の製造方法は、直径0.5 μ m超と直径0.1~0.5 μ mの介在物の個数を、所定の範囲内に調整できるものであればよい。

【0039】主に1次脱酸生成物である直径0.5 μ m超の介在物の制御は、例えば、溶鋼脱ガス処理還流時間を長くするか、またはスラグ組成の調整によりスラグからの再酸化を調整することなどにより行う。

【0040】主に2次脱酸生成物である直径0.1~0.5 μ mの介在物の制御は、鋳造速度、鋳造時の加熱、補助加熱、保熱、鋳造厚さ、冷却条件など溶鋼の凝固冷却速度を調整することにより行う。

【0041】例えば、鋼板中の0.5 μ m超の介在物の大きさ、個数の調整のために、溶鋼鋳造前の脱ガス処理を6分以上実施するか、あるいは鋳造中の溶鋼の流れの

調整、鋳造中の電磁攪拌の調整で実施する。

【0042】鋼板中の0.1～0.5 μ mの介在物の大きさ、個数の調整のために、溶鋼鋳造の鋳造凝固時の冷却速度を10℃/秒から20℃/秒程度とする。この冷却速度を確保するために、鋳片の厚みを薄くするとか、冷却スプレーの強化などを実施する。

【0043】また、Cuの少ない原料、副原料を用いて精錬することが好ましい。Sについても溶銑の脱硫、取鍋精錬などで脱Sするか、Sの少ない原料、副原料を用いて精錬することが好ましい。

【0044】このように真空溶解炉、転炉または電気炉で得た溶鋼を、脱ガス処理などを施し、造塊鋳造、連続鋳造あるいはストリップキャスターで鋳造し、熱片状態での直送圧延あるいは鋼片再加熱後に熱間加工を行う。熱間加工は、分塊圧延、粗圧延、仕上熱延の内、仕上熱延は必須であるが、分塊圧延、粗圧延は鋳造後の鋼塊、鋼片、鋳造板などの厚さ寸法、リジング抑制などにより選択する。

【0045】次いで、酸洗後、熱延板焼鈍は行ってもよいが必須ではない。次いで、一回の冷間圧延、もしくは中間焼鈍をはさんだ2回以上の冷間圧延で60～95%の圧下率を採り、所定の板厚とする。

【0046】仕上焼鈍は、700～1000℃の温度範囲で実施する。必要により打抜き加工や剪断加工後に磁性焼鈍を行うことで、より鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を製造する。

【0047】

- 10 【実施例】表2は溶鋼鋳造前の脱ガス処理時間、溶鋼鋳造の鋳造凝固時の冷却速度、仕上焼鈍条件、磁性焼鈍条件、介在物の大きさと個数、25cmエプスタイン試験(JISC2550)で鋼板の長手方向と幅方向の各々を測定した平均値の鉄損W15/50と磁束密度B50の結果とを表示している。

【0048】なお、鋼板の成分は表1のとおりである。

【0049】

【表2】

鋼板 番号	鋼板 成分 番号	脱ガス、 脱酸時間 分	焼鈍 速度 ℃/秒	仕上焼鈍 温度 ℃	焼鈍時間 分	磁性焼鈍 温度 ℃	0.5 μ m 超の介在物 個/mm ²	0.1 ~ 0.5 μ m の介在物 個/mm ²	鉄損 W/15/50 W/kg	磁束 密度 B 50 T	比較例の 外れ項目
1	1	12	15	830	30	—	280	1153	4.53	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
2	2	11	13	830	30	—	285	1325	5.70	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
3	3	20	15	850	50	—	127	1530	4.45	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
4	4	20	19	850	50	—	127	4200	4.61	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
5	5	8	15	850	50	—	410	1580	4.63	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
6	6	20	15	850	50	—	125	298	5.32	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
7	7	6	10	850	50	—	612	2013	5.32	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
8	8	12	12	750	750	750	280	1960	3.32	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
9	9	12	25	750	750	750	280	6750	3.96	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
10	10	12	12	750	750	750	750	2010	4.01	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
11	11	11	10	880	80	—	275	1013	3.41	1.72	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
12	12	11	15	880	80	—	262	1123	3.39	1.72	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
13	13	11	15	880	80	—	263	2960	3.32	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
14	14	6	15	880	80	—	400	2850	3.45	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
15	15	11	18	880	80	—	280	4050	3.41	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
16	16	6	18	880	80	—	410	4120	3.52	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
17	17	11	23	880	80	—	615	6300	3.91	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
18	18	5	15	880	80	—	296	2800	4.32	1.71	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
19	19	10	10	920	20	—	296	2050	2.48	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
20	20	13	13	1000	00	—	273	2111	3.05	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
21	21	9	17	920	00	—	410	2100	2.52	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
22	22	5	13	920	00	—	732	2072	3.20	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
23	23	11	10	940	40	—	289	856	2.35	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
24	24	12	15	830	30	—	295	112	4.75	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
25	25	12	15	830	30	—	293	112	4.75	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
26	26	12	15	830	30	—	293	1058	4.68	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
27	27	12	15	830	30	—	280	1142	2.30	1.65	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
28	28	12	15	830	30	—	286	1167	3.32	1.68	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
29	29	12	15	830	30	—	291	1140	4.05	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
30	30	12	15	830	30	—	280	1120	5.12	1.73	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物
31	31	12	15	830	30	—	287	1150	4.55	1.70	本発明鋼板 0.1 ~ 0.5 μ m 介在物

【0050】熱間圧延で板厚2mmの鋼板を得て、酸洗し、鋼板成分番号4～7および11～12については850℃、3時間の熱延板焼鈍を行った。

【0051】次いで、板厚0.5mmまで冷間圧延し、表2の仕上焼鈍を行った。表2に示すように、本発明の鋼板は、同一の熱延板焼鈍条件、仕上焼鈍条件、磁性焼鈍条件の時、磁束密度を維持しつつ鉄損の少ない鋼板が得られている。

【0052】なお、直径0.1～0.5 μ mの介在物の個数が500個/mm²未満の比較例の鋼板のSEM観察、TEM観察の結果では、10nm程度の非常に微細なCuSが多数観察された。これにより、焼鈍時の結晶粒の成長が阻害され、鉄損が多くなっていると推定する。

【0053】また、直径0.1～0.5 μ mの介在物の

個数が5000個/mm²超えの比較例の鋼板のSEM観察、TEM観察の結果では、10nm程度の非常に微細なCuSは認められなかった。これにより、微細なCuSの悪影響は無いが、0.1～0.5 μ mの介在物の個数が多いために焼鈍時の結晶粒の成長が阻害され、鉄損が多くなっていると推定する。

【0054】請求項2記載の発明の鋼板である鋼板番号1（鋼板成分番号1）は、本発明鋼板の鋼板番号24（鋼板成分番号8）に対して、成分、仕上焼鈍条件、介在物の個数がほぼ同一であるが、C量が少ないのでより鉄損が少なく優れている。

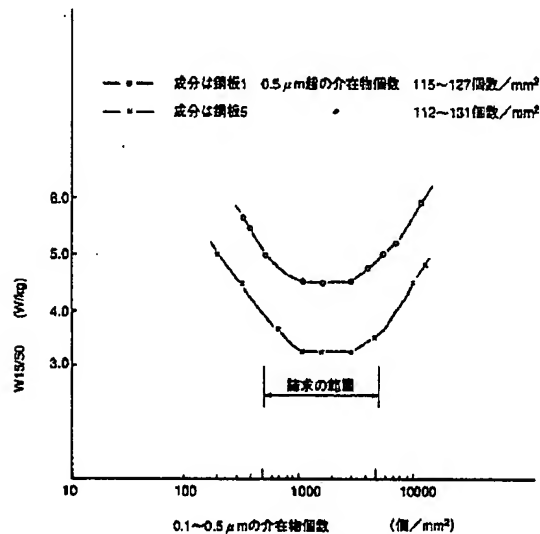
【0055】請求項2記載の発明の鋼板である鋼板番号1（鋼板成分番号1）は、本発明鋼板の鋼板番号25（鋼板成分番号9）に対して、成分、仕上焼鈍条件、介在物の個数がほぼ同一であるが、N量が少ないのでより

鉄損が少なく優れている。

【0056】請求項2記載の発明の鋼板である鋼板番号1（鋼板成分番号1）は、本発明鋼板の鋼板番号26（鋼板成分番号10）に対して、成分、仕上焼鈍条件、介在物の個数がほぼ同一であるが、P量が少ないのでより鉄損が少なく優れている。なお、比較鋼板の鋼板番号27（鋼板成分番号11）は、鋼板中のSi量が多めで、鋼板番号28（鋼板成分番号12）は、鋼板中のAl量が多めであるために、鉄損は優れているが、磁束密度の低下が大きい。

【0057】比較鋼板の鋼板番号31（鋼板成分番号15）は、鋼板中のMn量が多めで、鉄損は優れているが、成分、仕上焼鈍条件、介在物の個数がほぼ同一の本発明の鋼板である鋼板番号1（鋼板成分番号1）に比較*

【図1】



*して磁束密度の低下が大きい。

【0058】

【発明の効果】本発明は、鋼板中のCu量、S量と鋼板中の介在物の大きさ、個数とを規定することで、磁束密度を維持しつつ鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板が得られた。

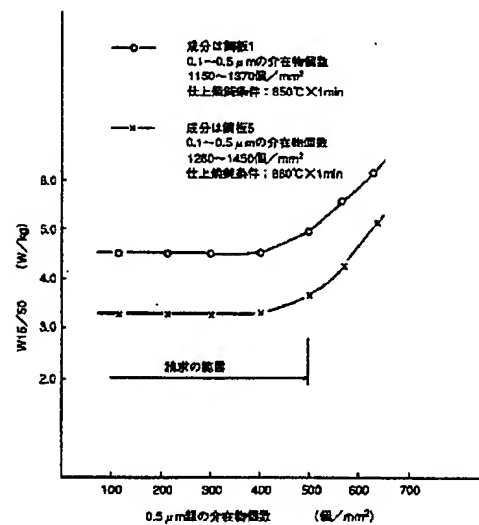
【図面の簡単な説明】

【図1】直径0.1~0.5 μmの介在物の個数と鉄損との関係を示す図である。

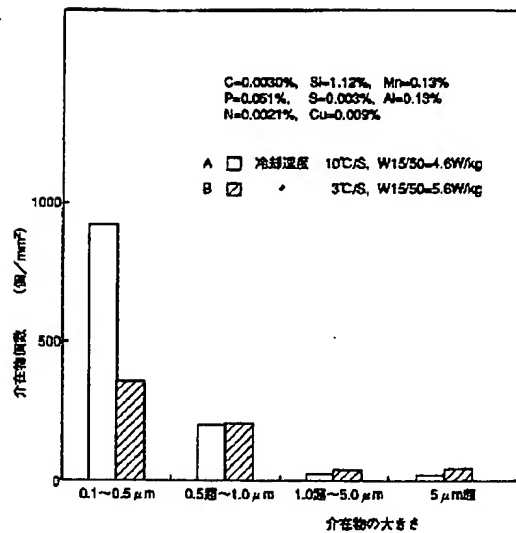
10 【図2】直径0.5 μm超の介在物の個数と鉄損との関係を示す図である。

【図3】溶鋼製造時の冷却速度と介在物の大きさと個数と鉄損との関係を示す図である。

【図2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 富田 邦和
 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
 本钢管株式会社内

BEST AVAILABLE COPY